

# Stijve en taaie polymeercomposieten

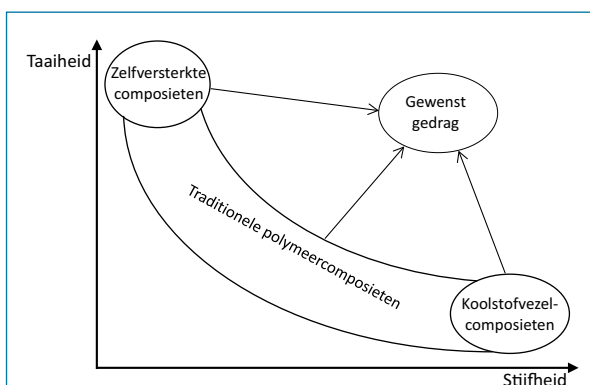
## Doctoraat van Yentl Swolfs



**Yentl Swolfs** studeerde af als burgerlijk materiaalkundig ingenieur aan de Faculteit Ingenieurswetenschappen van de KU Leuven. In augustus 2010 startte hij een doctoraat in de Composite Materials Group van het Departement Materiaalkunde, getiteld: "Hybridisatie van zelfversterkte composieten: modellering en verificatie van een nieuw hybride concept", met professor Ignaas Verpoest en dr. Larissa Gorbatiikh als promotoren. Dit doctoraat werd gefinancierd door IWT en kaderde in het Europese project HIVOCOMP. Hij publiceerde 15 artikels in ISI-tijdschriften en kreeg de gelukwensen van de examencommissie voor zijn doctoraatsverdediging op 8 januari 2015. Het onderzoek leidde ook tot een patent samen met de Universiteit van Leeds. Recent ontving hij een Marie Curie Individual European Fellowship om vanaf september voor een jaar postdoctoraal onderzoek te doen aan Imperial College London

### Het stijfheid/taiheid/dilemma

Stijfheid en taaieheid zijn twee essentiële materiaalparameters. Stijfheid is de weerstand van een materiaal tegen kleine, elastische vervormingen. Taaieheid is een maat voor de hoeveelheid energie die een materiaal kan absorberen vooraleer het breekt. Composietmaterialen met zowel een hoge stijfheid als een hoge taaieheid zijn daarom zeer gegeerd, vooral in de exponentieel groeiende markt van composieten voor de automobielsector. Spijtig genoeg gaat een hoge stijfheid vaak gepaard met een lage taaieheid en vice versa. Dit wordt het stijfheid/taiheid/dilemma genoemd.



Het stijfheid/taiheid/dilemma in composieten: ze zijn ofwel stijf maar bros ofwel taaie maar soepel. Het gewenste gedrag is een combinatie van hoge stijfheid en hoge taaieheid.

De meeste polymeercomposieten bevatten glasvezels of koolstofvezels en positioneren zich daarom als materialen met een hoge stijfheid maar met een beperkte taaieheid. Een alternatief hiervoor kan gevonden worden in zelfversterkt polypropyleen (PP).

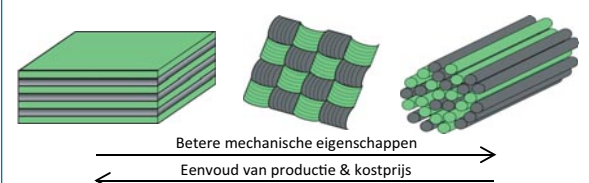
Dit materiaal bestaat uit PP-vezels in een PP-matrix, wat leidt tot een beperkte stijfheid, maar wel tot een hoge taaieheid.

Zowel zelfversterkt PP als traditionele polymeercomposieten zijn dus onderhevig aan het stijfheid/taiheid/dilemma.

### Doorbreken van het stijfheid/taiheid/dilemma door hybridisatie

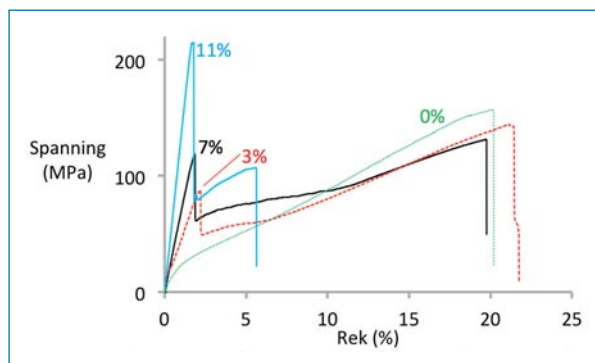
Er is veel onderzoek naar strategieën om dit dilemma te doorbreken. Een van de mogelijke strategieën is hybridisatie van een brose en een ductiele vezel. Ductiele vezels hebben een hoge breukrek en zijn taaie, terwijl brose vezels een lage breukrek vertonen. In dit doctoraat werd onderzocht of hybrides van zelfversterkt PP met koolstofvezel in staat zijn om het stijfheid/taiheid/dilemma te doorbreken. Beide vezels kunnen op verschillende niveaus gemengd worden: interlaag, intralaag en intragaren. Het bestuderen van verschillende mengvormen is essentieel, aangezien meestal een intensere menging van de verschillende vezels tot betere mechanische eigenschappen leidt. De intragaren mengvorm heeft de beste menging, maar is moeilijk te produceren en dus duur. Uit ons onderzoek is gebleken dat de intralaag mengvorm de gulden middenweg vormt.

De moeilijkheid van hybride zelfversterkte composieten ligt in het grote verschil in stijfheid en breukrek van beide vezels. Wanneer de koolstofvezels breken bij een aangelegde rek van 2%, dan komt er een grote hoeveelheid energie vrij. Deze energie moet ergens gedissipeerd worden en kan daarbij schade veroorzaken aan het zelfversterkt PP. Het is dan ook essentieel om dit goed te controleren door een intelligent ontwerp van het hybride composiet. Bij een hoge koolstofvezelvolumefractie komt er veel energie vrij en wordt er dus onvermijdelijk schade gecreëerd in het zelfversterkt PP. Als er minder dan 7% koolstofvezel op



Hybridisatiemengvormen waarbij interlaag (links) minder goede mechanische eigenschappen heeft dan intralaag (midden) en intragaren (rechts), maar wel eenvoudiger te produceren en goedkoper is.

# sieten: het kan!



Spanning-rekdiagram van hybride zelfversterkte composieten, waarbij de hoge breukrek van zelf-versterkt PP enkel wordt behouden als de koolstof-vezelvolumefractie lager is dan 11%.

volumebasis wordt toegevoegd aan zelfversterkt PP, dan kan de hoge breukrek van 20% behouden worden. Dit leidt tot een composiet met een redelijke stijfheid en een finale breukrek van 20%, waardoor we kunnen ontsnappen aan het stijfheid/taaïheidsdilemma.

## Modelontwikkeling

Modellen die het mechanisch gedrag kunnen voorspellen zijn essentieel om nieuwe materiaalontwikkelingen te ondersteunen. Het voorspellen van het mechanisch gedrag van hybride composieten is echter bijzonder moeilijk door (1) de complexe vezelverdelingen en (2) de aanwezigheid van synergetische effecten tussen beide vezels.

Daarom hebben we een nieuw model ontwikkeld dat het spanning-rekdiagram van zowel hybride als niet-hybride unidirectionele composieten kan voorspellen. Dit flexibele model kan werken met complexe vezelverdelingen en kan daardoor voorspellen welke vezelverdelingen en materiaalparameters tot de grootste synergetische effecten leidt. Dit stelde ons in staat om te concluderen dat een verdeling in zeer fijne laagjes beter is dan een willekeurige vezelverdeling. De falings van de koolstofvezels kan namelijk met 16% verhoogd worden ten opzichte van de breukrek in een koolstofvezelcomposiet zonder glasvezels. Dit is van groot praktisch belang, aangezien hybrides met deze fijne laagjes gemakkelijker te produceren zijn dan een willekeurige vezelverdeling.

Dit model werd ook experimenteel gevalideerd in samenwerking met de Universiteit van Bristol. Door de goede overeenkomst tussen experimentele data en modelvoorspellingen kunnen we concluderen dat dit type modellen de belangrijkste synergetische effecten kunnen vatten. Deze modellen kunnen daarom gebruikt worden om ontwerprichtlijnen op te stellen en zelfs om de mechanische eigenschappen te voorspellen.

Op die manier kan de hoeveelheid trial-and-error geminimaliseerd worden en zal er sneller tot een optimaal ontwerp van hybride composieten gekomen worden.

## Toepassingen

In het kader van het HIVOCOMP-project zijn er twee demonstratiestukken met hybride zelfversterkte composieten gemaakt: een Samsonite koffer en het opstaande paneel van de achterbank van een Lancia Y auto. De hybride Samsonite koffer toont aan dat we, ondanks de aanwezigheid van de stijve, continue koolstofvezels, nog steeds een complexe vorm kunnen thermovormen. Gecombineerd met de unieke combinatie aan stijfheid en taaïheid, leidt dit tot een materiaal met een groot potentieel voor allerlei toepassingen, niet alleen in reiskoffers, maar ook in de automobielsector en sportartikelen.



Samsonite koffer gemaakt met zelfversterkt PP gehybridiseerd met koolstofvezel.

## Conclusie

Door een intelligent ontwerp van hybride zelfversterkte composieten is het mogelijk om het stijfheid/taaïheidsdilemma te doorbreken. Hiervoor moeten de hoeveelheid brosse vezel, de vezelverdeling en de bindingssterkte nauwlettend gecontroleerd worden. Doordat hybride zelfversterkte composieten ook met zeer korte cyclustijden van een à twee minuten gemaakt kunnen worden, zijn zij een ideaal materiaal voor gewichtsreducties in de automobielsector. Er zijn bovendien modellen ontwikkeld die de synergetische effecten tussen de brosse en ductiele vezel kunnen voorspellen.

Yentl Swolfs  
Larissa Gorbatikh  
Ignaas Verpoest



— Vezel 1  
— Vezel 2

Complexe vezelverdelingen in een dwarsdoorsnede van een unidirectioneel hybride composiet: een willekeurige vezelverdeling (links) leidt tot kleinere synergetische effecten dan een verdeling in fijne laagjes (rechts).